

Гравітаційна сепарація

УДК 622.242.6

В.С. БІЛЕЦЬКИЙ, д-р техн. наук

(Україна, Харків, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"),

П.О. МОЛЧАНОВ, В.М. САВИК, кандидати техн. наук

(Україна, Полтава, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка)

ЗАСТОСУВАННЯ ГІДРОЦИКЛОНІВ У ЦИРКУЛЯЦІЙНІЙ СИСТЕМІ БУРОВОГО РОЗЧИНУ

Постановка та стан вивчення проблеми. Гідроциклони широко використовують при бурінні свердловин у циркуляційній системі бурового розчину для його очищення від піску і частинок вибуреної породи, що виносяться на денну поверхню.[1]

У муловідділювачах ИГ-45 використовуються шістнадцять гідроциклонів діаметром 75 мм, розташованих у два ряди. Гідроциклони, які використовуються в ПГ-50 та ИГ-45, переважно розрізняються розмірами однойменних деталей. Корпус гідроциклонів має роз'ємну конструкцію і складається із силумінових литих циліндра, конуса і обойми для шламової насадки. Для запобігання від зносу і корозії внутрішні поверхні корпуса, що контактують з промивальною рідиною, покривають гумовим чохлом. Насадки виготовляють із зносостійких сталей та сплавів.

Підбір раціональних розмірів гідроциклонів, вибір їх необхідної кількості у муловідділювачах здійснюється, як правило, емпірично.

Мета статті – оптимізація конструкції муловідділювача за допомогою комп'ютерного моделювання, а саме удосконалення гідроциклона. Виявлення зв'язків між геометричними розмірами гідроциклона й експлуатаційними властивостями муловідділювачів. Це дозволить підвищити швидкість очистки, що в цілому позитивно вплине на якість бурового розчину.

Основний матеріал і результати. Гідроциклони застосовуються для класифікації по крупності і знешламлювання дрібнозернистих та тонких продуктів. Вони використовуються також для згущення пульпи і збагачення. В промисловості використовуються гідроциклони діаметром від 25 до 1400 мм. На збагачувальних фабриках застосовують головним чином циліндроконічні гідроциклони малих типорозмірів з кутом конусності 10° і великих типорозмірів з кутом конусності 20° . Гідроциклони малих діаметрів працюють з відносно високим тиском, великих діаметрів – з низьким тиском. Залежно від призначення гідроциклони мають різний кут при вершині конічної частини корпуса (кут конусності): згущувальні – 10° ; класифікаційні – 20° ; важкосередовищні – $40-60^\circ$; збагачувальні (короткоконусні) – понад 90° .

Класифікаційний гідроциклон, який, зокрема, використовується для очистки бурового розчину, являє собою циліндроконічний апарат (рис. 1). Живлення під тиском подається у верхню частину циліндра за допомогою тангенціально розташованої живильної насадки 3. Злив вивантажується через зливний патру-

Збагачення корисних копалин, 2017. – Вип. 66(107)

бок 4 у циліндричній частині 1 гідроциклону, а піски – через піскову насадку 5, розташовану в конічній частині 2. У результаті тангенціального введення вихідної пульпи в гідроциклон вона здобуває інтенсивний обертальний рух з частотою, що досягає декількох тисяч обертів на хвилину. У таких умовах всередині гідроциклону виникає відцентрова сила, яка на декілька порядків переважає силу ваги.

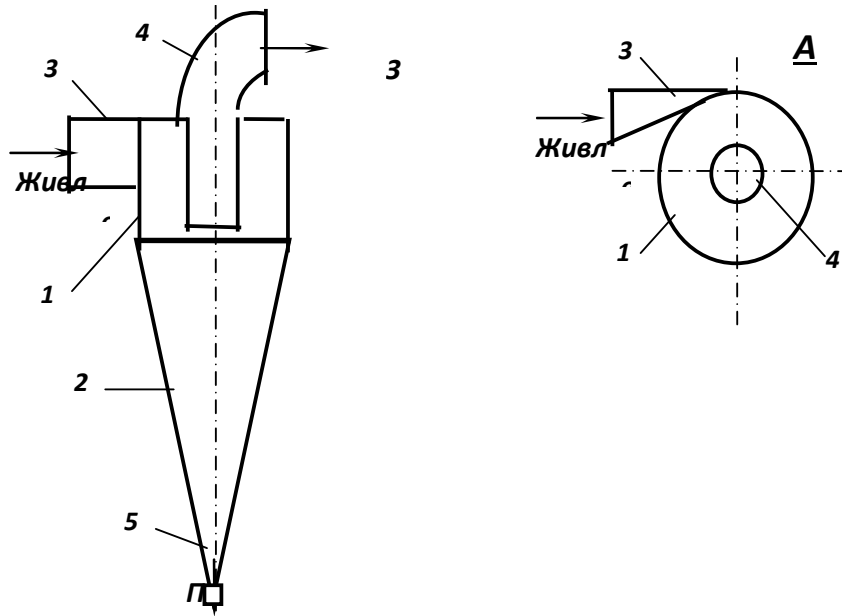


Рис. 1. Гідроциклон:

1 – циліндрична частина; 2 – конічна частина; 3 – живильний патрубок;
4 – зливний патрубок; 5 – піскова насадка

При вихровому русі пульпи в гідроциклоні утворюються два обертових потоки – зовнішній, що переміщається уздовж стінок конуса вниз до піскової насадки 5, і внутрішній циліндричний, спрямований уверх уздовж осі до зливного патрубку 4. Поблизу геометричної осі апарата відцентрова сила стає настільки великою, що відбувається розрив суцільності потоку і утворення повітряного стовпа діаметром до 0,7 від діаметра зливного патрубку.

Швидкість руху частинки в гідроциклоні можна представити як векторну суму тангенціальної V_t , радіальної V_r і осьової V_x складових. Тангенціальна швидкість пульпи збільшується зі зменшення відстані від осі, тому в гідроциклоні спостерігається різке зростання відцентрової сили від стінок до осі. Осьова швидкість частинки в зовнішньому потоці спрямована вниз, а у внутрішньому – уверх. Положення частинки по радіусу гідроциклону визначає, куди вона буде винесена вертикальним потоком – у злив або у піски. Незважаючи на те, що рух пульпи в гідроциклоні носить турбулентний характер, обтікання більшої частинки має ламінарний характер, тому що відносні швидкості обтікання невеликі. Диференціальне рівняння руху частинки в радіальному напрямку:

$$m \frac{dV_r}{dt} = \frac{\pi d^3 (\delta - \Delta)}{6} \cdot \frac{V_t^2}{r} - 3\pi\mu V_r d, \quad (1)$$

відси радіальна швидкість переміщення частинки в рівноважному стані:

$$V_r = \frac{V_t^2 (\delta - \Delta)}{18\mu r} \cdot d^2, \quad (2)$$

де V_r і V_t – радіальна і тангенціальна швидкості, м/с; d – діаметр частинки, м; δ і Δ – густини частинки і середовища, кг/м³; μ – в'язкість середовища, Па·с; r – радіус обертання частинки, м.

На показники роботи гідроциклонів впливають конструктивні і технологічні фактори. До конструктивних факторів належать: форма і геометричні розміри гідроциклона, піскової насадки, живильного і зливного патрубків, спосіб установки гідроциклона; до технологічних факторів: тиск на вході і властивості оброблюваної пульпи (вміст твердого, його гранулометричний і речовинний склад).

Продуктивність гідроциклона по твердому розраховується за формулою:

$$Q = 200D^2, \text{ т/год}, \quad (3)$$

де D – діаметр гідроциклона, м.

Обраний гідроциклон повинен бути перевірений на продуктивність по пісках Q_n . Питома продуктивність гідроциклона по пісках q_n , що проходять через піскову насадку обраного розміру d_n складає:

$$q_n = Q_n / (0,785nd_n^2), \text{ т/год} \cdot \text{м}^2, \quad (4)$$

де Q_n – продуктивність гідроциклонів по пісках, т/год; n – число обраних в операції гідроциклонів.

Нормована питома продуктивність вибраного гідроциклона повинна складати $5 \cdot 10^3 \div 2,5 \cdot 10^4$ т/год·м². Якщо питома продуктивність не входить у зазначений інтервал, варто прийняти нову насадку і перевірити номінальну крупність зливу при новому діаметрі насадки d_n .

При виборі гідроциклона його типорозмір визначають, виходячи з необхідної продуктивності по живленню, з урахуванням крупності одержуваного зливу.

Номінальна крупність частинок зливу d_n гідроциклона може бути визначена за формулою:

$$d_n = 15 \cdot \left(\frac{D d_3 \beta}{k_D d_n (\delta - 1) \sqrt{p_0}} \right)^{0.5}, \text{ мкм}, \quad (5)$$

де D , d_3 , d_n – діаметр гідроциклону, зливної і піскової насадок, м; β – вміст твердого в живленні гідроциклону, %; δ – об’ємна густина твердої фази, т/м³; k_D – коефіцієнт, що залежить від діаметра гідроциклону; p_0 – тиск на вході в гідроциклон, МПа.

Наведені вище характеристичні параметри гідроциклону можуть бути одержані експериментально, зокрема, за допомогою програми SolidWorks з прикладним модулем Flow Simulation. Використання цих моделей дає змогу обґрунтування модернізації гідроциклону, адаптації його конструкції до тих, чи інших умов експлуатації та вихідної сировини.

На рисунках 2-7 наведено результати моделювання гідроциклону-аналога і модернізованого гідроциклону у модулі Flow Simulation програмного середовища SolidWorks.

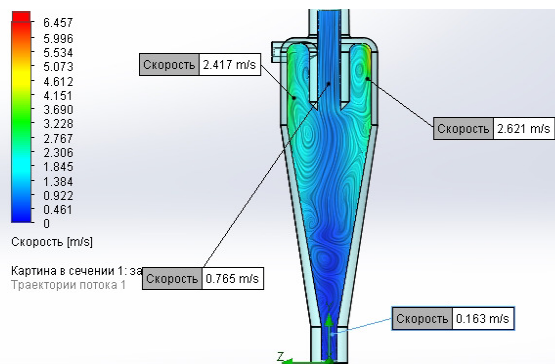


Рис. 2. Моделювання поля швидкостей гідроциклону-аналога (м/с), при витраті 1 л/с

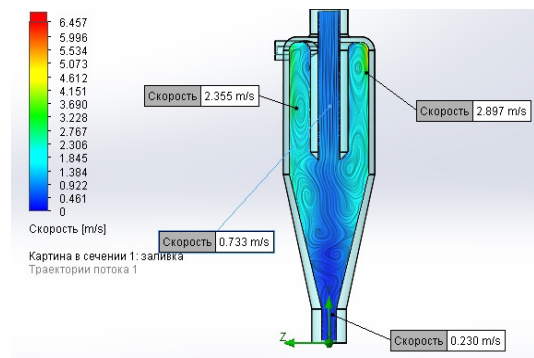


Рис. 3. Моделювання поля швидкостей гідроциклону -модернізованого (м/с), при витраті 1 л/с

Для визначення раціональних або оптимальних конструктивних та експлуатаційних рішень використовують моделювання гідроциклону з одержанням поля швидкості, турбулентності, тиску тощо. Нами виконано порівняння поля швидкостей гідроциклону-аналога і модернізованого (м/с), при витраті 1 л/с та поля завихрення гідроциклону-аналога і модернізованого (1/с), при витраті 1 та 2 л/с.

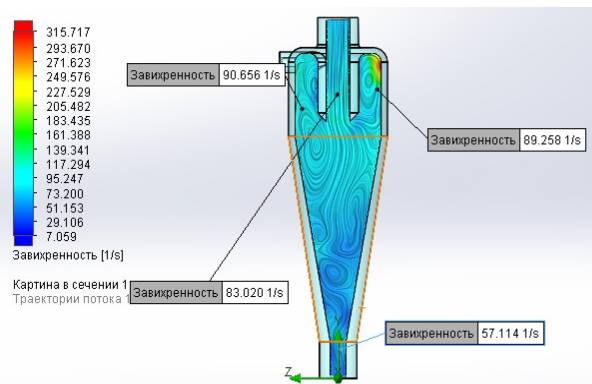


Рис. 4. Моделювання поля завихрення гідроциклона-аналога (1/с), при витраті 1 л/с

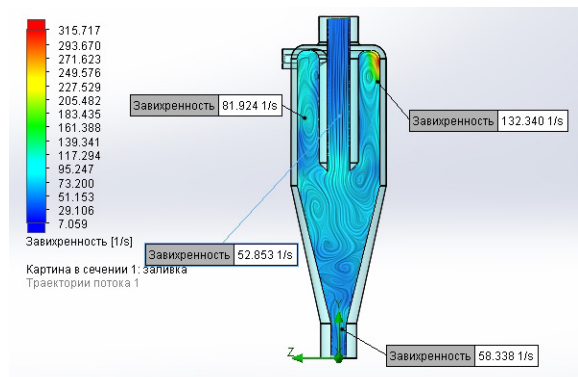


Рис. 5. Моделювання поля завихрення гідроциклона-модернізованого (1/с), при витраті 1 л/с

Дослідження показало, що поле швидкостей гідроциклона-аналога і модернізованого практично ідентичні (рис. 2, 3).

При дослідженні полів швидкостей спостерігається збільшення швидкості пульпи в пристінній циліндричній зоні модернізованого циклона з 0,163 до 0,230 м/с. Відповідно збільшується і відцентрова сила, що позитивно впливає на технічні характеристики циклона.

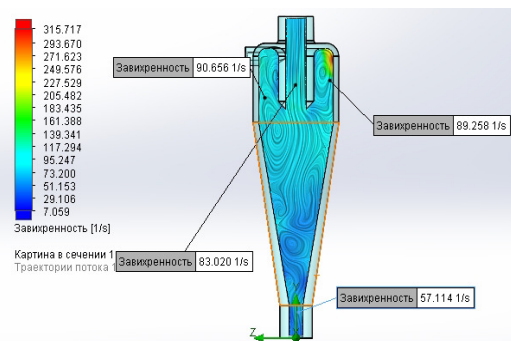


Рис. 6. Моделювання поля завихрення гідроциклона-аналога (1/с), при витраті 2 л/с

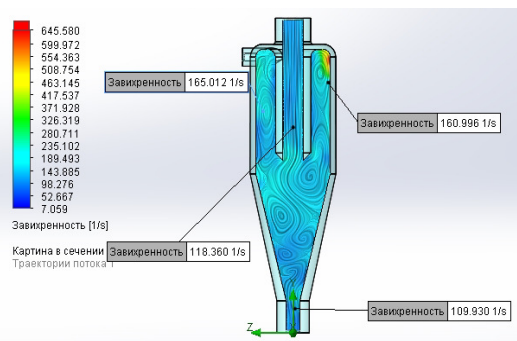


Рис. 7. Моделювання поля завихрення гідроциклона-модернізованого (1/с), при витраті 2 л/с

При дослідженні на завихрення спостерігаються різні тенденції в залежності від витрат вихідної пульпи. При витратах 1 л/с завихреність в робочій зоні модернізованого гідроциклона менше ніж у гідроциклона-аналога. При витратах 2 л/с спостерігається зворотня картина, а саме завихрення 89,225 зростає до 160,996 (1/с), що дає змогу стверджувати про негативну динаміку зміни цього фактора зі збільшенням витрат рідини.

Висновки

1. Проведені дослідження засвідчили доцільність внесення змін геометричних параметрів гідроциклона муловідділювача, що дасть змогу збільшити

ефективність очистки розчину за рахунок зменшення завихреності потоків розчину в корпусі гідроциклона.

2. Поєднання аналітичного та емпіричного підходу до вибору раціональних розмірів гідроциклонів, їх необхідної кількості у муловідділювачах, режимних параметрів дозволяє обґрунтувати вдосконалення вузла муловідділювача циркуляційної системи бурового розчину і в цей спосіб збільшити ефективність роботи всієї системи.

Список літератури

1. Проектування бурового і нафтопромислового обладнання / В.С. Білецький, В.Г. Вітрик, А.М. Матвієнко та ін. – Полтава: ПолтНТУ, 2015. – 196 с.
2. Бойко В.С. Розробка та експлуатація нафтових родовищ. 4-е доп. вид. – К.: Міжнародна економічна фундація, 2008. – 488 с.
3. Машины та обладнання для видобування нафти і газу: довідниковий посібник / В.М. Світлицький, С.В. Кривуля, А.М. Матвієнко, В.І. Коцаба. – Харків: КП "Міська друкарня", 2014. – 352 с.
4. Яремійчук Р.С. Освоєння свердловин: довідникове видання. – Львів: Центр Європи, 2007. – 368 с.
5. Костриба І.В. Основи конструювання нафтогазового обладнання: Навч. Посібник. – Івано-Франківськ: Факел, 2007 – 256 с.

© Білецький В.С., Молчанов П.О., Савик В.М., 2017

Надійшла до редколегії 14.04.2017 р.

Рекомендовано до публікації д.т.н. М.І. Сокуром